

ACCORDO DI COLLABORAZIONE TECNICO-SCIENTIFICA

Tra
Direzione Generale Assessorato dei Lavori Pubblici (DGLLPP)
della Regione Autonoma della Sardegna
e
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR)
dell'Università degli Studi di Cagliari

Finalizzato allo sviluppo di attività di ricerca per l'implementazione di un supporto tecnico specialistico per l'individuazione delle fasi di allerta a salvaguardia delle popolazioni e dei territori interessati da eventi idrologici a valle delle grandi dighe, secondo le indicazioni della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014

**Bacino vallivo della diga di La Maddalena (Puzzoni)
sul fosso Vena Lunga e fosso Gambino**

ALLEGATO

II.14

Relazione

Responsabile Scientifico per DICAAR

Prof. Giovanni Maria Sechi

Elaborazioni

Ing. Riccardo Zucca

Ing. Pino Frau

Cagliari, Gennaio 2023



Indice

1	Premessa	3
2	La diga di La Maddalena (Puzzoni) sul fosso Vena Lunga e fosso Gambino	6
2.1	Organi di scarico	8
3	Regole operative per la gestione dell'invaso.....	9
4	Portate di riferimento ai sensi della Direttiva P.C.M. 08/07/2014.....	10
4.1	Considerazioni preliminari.....	10
4.2	QAm _{max} per il bacino a valle dello sbarramento di La Maddalena	11
4.3	Qmin per il bacino a valle dello sbarramento di La Maddalena	12
5	Simulazione idraulica ed individuazione degli elementi a rischio nel corso d'acqua vallivo alla diga di La Maddalena.....	13
5.1	Modello idraulico.....	13
5.2	Simulazione della portata QAm _{max}	14
5.3	Simulazione della portata Qmin	17
5.4	Individuazione dei valori critici di portata	20
5.4.1	Valutazione delle portate critiche per viabilità e infrastrutture a rete	21
5.4.2	Valutazione delle portate critiche per le opere di difesa longitudinali	24
5.4.3	Valutazione delle portate critiche per elementi antropici	28
6	Considerazioni conclusive	31



1 Premessa

La Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, "Indirizzi operativi inerenti all'attività di protezione civile nell'ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe", costituisce atto di indirizzo e coordinamento per la definizione del "Documento di Protezione civile" e per i provvedimenti che le regioni devono adottare nei territori a valle delle grandi dighe. La Direttiva individua, pertanto, gli indirizzi operativi che il Documento di Protezione Civile deve contenere per stabilire le condizioni di attivazione delle fasi di allerta per le finalità di sicurezza degli sbarramenti e di gestione del rischio idraulico nei territori a valle.

In particolare, al punto 2 della Direttiva è detto che ai fini dell'obiettivo di riduzione e gestione del rischio idraulico a valle della diga, il Documento di Protezione Civile deve contenere:

- le portate massime scaricabili dagli organi di scarico alla quota di massimo invaso e la portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica (denominata Q_{max}) di cui al punto B) della circolare della Presidenza del Consiglio dei Ministri 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806;

- i valori della/e portata/e di «attenzione scarico diga» Q_{min} e delle soglie incrementali ΔQ di cui al successivo punto 2.4 nella Direttiva, funzionali agli ulteriori obblighi di comunicazione del Gestore.

Si ricorda, inoltre, che con Delibera N. 33/31 del 10/06/2016, la Giunta regionale della RAS, ha evidenziato la necessità della approvazione del Documento di Protezione Civile, previsto nella sopra citata Direttiva, per le c.d. "**grandi dighe**" ricadenti nella fascia di priorità 1. Pertanto, il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) dell'Università degli Studi di Cagliari, sulla base di un Accordo di collaborazione firmato nel novembre 2016 con la Direzione Generale Assessorato Lavori Pubblici (DGLLPP) della RAS, ha fornito supporto tecnico specialistico per l'individuazione delle fasi di allerta a salvaguardia delle popolazioni e dei territori interessati da eventi idrologici a valle delle grandi dighe di prima fascia, secondo le indicazioni della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, precedentemente richiamata.

Successivamente, nel maggio 2019, è stato firmato un nuovo Accordo di Collaborazione tecnico-scientifica tra la DGLLPP - Servizio opere idriche ed idrogeologiche (SOI) e il DICAAR per l'implementazione della medesima attività di supporto tecnico specialistico per l'individuazione delle fasi di allerta a salvaguardia delle popolazioni e dei territori interessati da eventi idrologici a valle delle grandi dighe, secondo le indicazioni della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, con specifico riferimento alle **dighe di 2° Fascia**.

Come già evidenziato nella Relazioni predisposta dal DICAAR nei mese di luglio e novembre 2019, per quanto riguarda gli studi relativi alle dighe di 2° fascia si è previsto che le attività si sviluppino secondo una specifica articolazione: nella **Prima Fase**, già conclusa, sono state predisposte le Relazioni preliminari che hanno illustrato sinteticamente per le dighe di 2° fascia: 1) le caratteristiche degli sbarramenti e relativi invasi; 2) la validazione preliminare della massima portata Q_{max} comunicata dal Gestore della diga, transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza fluviale; 3) la valutazione preliminare della portata di attenzione Q_{min} .

È quindi prevista una **Seconda Fase** per la definizione conclusiva da parte del Tavolo Tecnico delle portate Q_{max} , Q_{min} e delle soglie incrementali ΔQ sulla base di **Relazioni monografiche**, come la presente, per ciascuna diga contenente le prescrizioni per la riduzione del rischio idraulico a valle sulla base di specifiche modellazioni idrauliche.



Si ricorda, inoltre, che le dighe di 2° fascia sono state suddivise in una **Prima Parte** e in una **Seconda Parte**, come evidenziato di seguito in Tabella 1 e in Tabella 2. Tale suddivisione è stata determinata dalla difficoltà nel reperimento e disponibilità dei dati che non ha reso possibile completare in parallelo le schede per tutte le dighe.

In definitiva, nella **Prima Parte** di studio rientrano le 19 dighe analizzate nella Relazione preliminare predisposta dal DICAAR nel mese di luglio 2019, per le quali il DICAAR disponeva già in tale data il FCEM e il valore di QAm_{ax} indicato dal gestore. La **Seconda Parte** comprende, invece, le rimanenti 21 dighe per alcune delle quali è stato possibile, peraltro, acquisire le informazioni mancanti.

Tabella 1 – Dighe di 2° fascia – I parte

Cod.	Diga	Corso d'acqua	Gestore
I.1	Monte Pranu	Rio Palmas	Enas
I.2	Bau Pressiu	Rio Mannu di Narcao	Enas
I.3	Punta Gennarta	Rio Canonica	Enas
I.4	Medau Zirimilis	Rio Casteddu	Enas
I.5	Rio Leni (Monte Arbus)	Rio Leni e rio Bidda Scema	Enas
I.6	Santa Vittoria	Fiume Tirso	Enas
I.7	Cuga	Rio Cuga	Enas
I.8	Surigheddu	Rio Quidongias	Enas
I.9	Simbirizzi	Stagno Simbirizzi	Enas
I.10	Liscia (Calamaiu)	Fiume Liscia	Enas
I.11	Santa Lucia	Rio Sa Teula	Enas
I.12	Flumineddu (Capanna Silicheri)	Rio Flumineddu	Enas
I.13	Monte su Rei	Rio Mulargia	Enas
I.14	Sa Forada	Rio Sa Forada	Enas
I.15	Benzone	Fiume Taloro	Enel Green Power S.p.A.
I.16	Cucchinadorza	Fiume Taloro	Enel Green Power S.p.A.
I.17	Gusana	Fiume Taloro	Enel Green Power S.p.A.
I.18	Olai	Rio Olai	Abbanoa S.p.A.
I.19	Sinnai (Cuili is Coccus)	Rio Santu Barzolu	Comune di Sinnai



Tabella 2 – Dighe 2° fascia – II parte

Cod.	Diga	Corso d'acqua	Gestore
II.1	Bidighinzu	Rio Bidighinzu	Enas
II.2	Monteponi	Rio Bellicai	Enas
II.3	Coxinas	Rio Coxinas	Enas
II.4	Monti di Deu	Rio Pagghiolu	Enas
II.5	Torrei	Rio Torrei	Enas
II.6	Sos Canales	Fiume Tirso	Enas
II.7	Mogoro	Rio Mogoro	Enas
II.8	Bau Muggeris	Fiume Flumendosa	Enel Green Power S.p.A.
II.9	Sa Teula	Rio Sa Teula	Enel Green Power S.p.A.
II.10	Bau Mela	Rio Bau Mela	Enel Green Power S.p.A.
II.11	Bau Mandara	Rio Bau Mandara	Enel Green Power S.p.A.
II.12	Corongiu 2	Rio Bau Filixi e Rio Corr'e Cerbu	Abbanoa S.p.A.
II.13	Corongiu 3	Rio Bau Filixi	Abbanoa S.p.A.
II.14	La Maddalena (Puzzoni)	Fosso Vena Lunga e Fosso Gambino	Abbanoa S.p.A.
II.15	Caprera (Fosso Stefano)	Fosso Stefano	Sezione del Genio Militare per la Marina di Cagliari
II.16	Minghetti	Rio Istitti	Consorzio Bonifica Sardegna Centrale
II.17	Bunnari Alta	Rio Bunnari	Comune di Sassari
II.18	Perdu Mulas	Rio Bacch'e Linna	Azienda Agricola Manca di Villahermosa
II.19	Donegani	Rio Mannu di Montevecchio	Comune di Arbus
II.20	Gutturu Mannu	Rio Gutturu Mannu	Regione Autonoma della Sardegna
II.21	Rio Perdosu	Rio Perdosu	Società Progetto Esmeralda s.r.l.

Nella presente relazione sono illustrate le analisi ed i risultati della modellazione realizzata dal DICAAR per il bacino vallivo alla **diga di La Maddalena (Puzzoni) sul fosso Vena Lunga e fosso Gambino, con codice II.14**. Si forniscono preliminarmente alcuni elementi descrittivi dello sbarramento e dell'invaso, quindi si indicano le portate di riferimento, valutate ai sensi della Direttiva P.C.M. del 8 luglio 2014 e si illustrano le simulazioni idrauliche del deflusso nel tratto d'alveo a valle dell'invaso fino alla foce.



2 La diga di La Maddalena (Puzzoni) sul fosso Vena Lunga e fosso Gambino

La diga di La Maddalena (Puzzoni) sbarra il fosso Vena Lunga ed il fosso Gambino nel territorio del Comune di La Maddalena (SS). L'opera assolve ai compiti di regolazione ad uso civile e di laminazione delle piene, ed è attualmente gestita da Abbanoa S.p.A.

La diga, ultimata nel 1935 è del tipo a gravità ordinaria in muratura a sacco ed è costituita essenzialmente da due sbarramenti contigui non allineati. È alta 23.5 m ed ha uno sviluppo al coronamento di circa 430 m. L'opera determina un invaso con capacità totale di invaso di 0.62 milioni di metri cubi.



Figura 1 – Diga di La Maddalena, vista da monte in destra

Di seguito si riportano:

- l'inquadramento del bacino idrografico (Figura 2);
- le caratteristiche dello sbarramento principale e dell'invaso (Tabella 3).

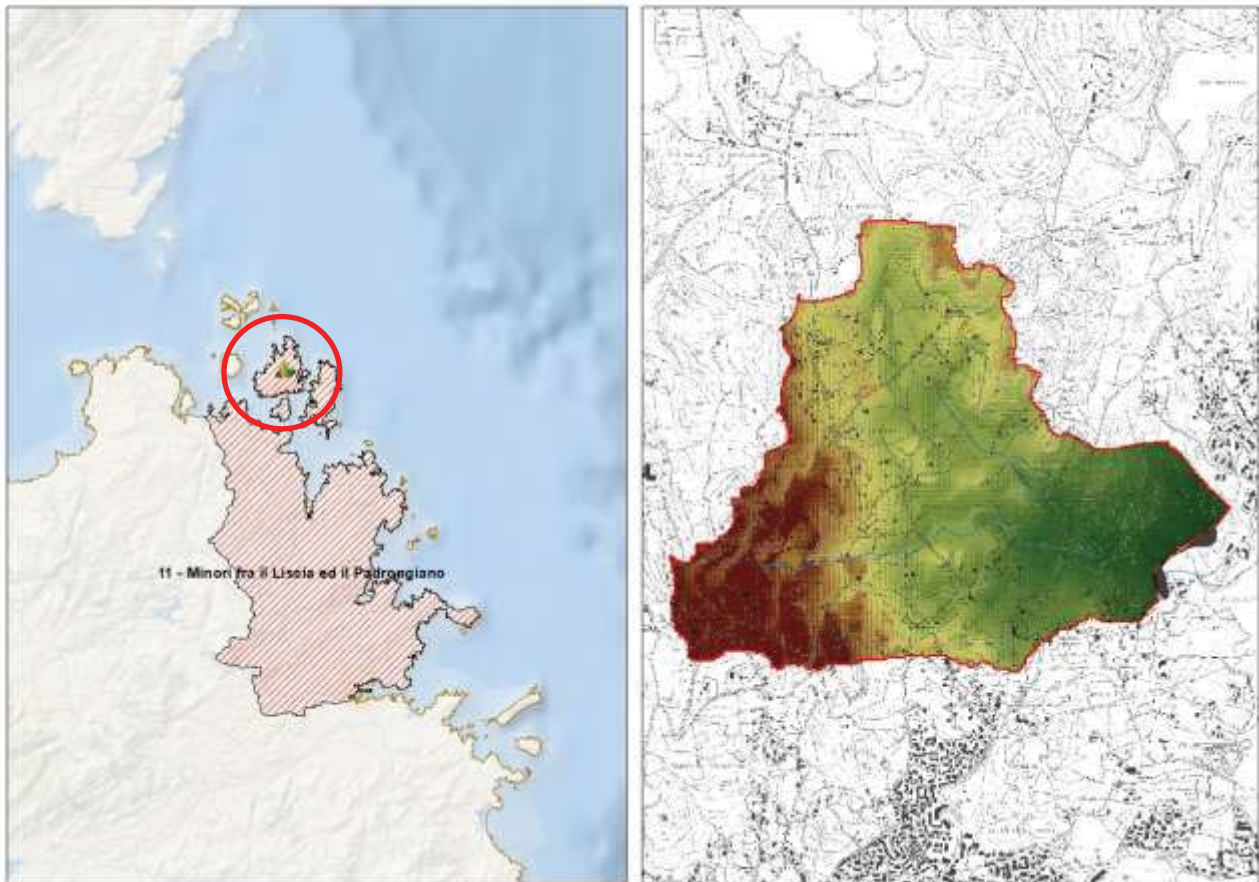


Figura 2 - Inquadramento bacino idrografico

Tabella 3 – Caratteristiche della diga di La Maddalena e relativo invaso

Tipologia diga	A gravità ordinaria in muratura a sacco
Gestore	Abbanoa S.p.A.
Altezza sbarramento	16.85 m
Quota di massimo invaso	16.5 m s.l.m.
Quota massima regolazione	16 m s.l.m.
Volume totale di invaso	$0.6 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume utile di regolazione	$0.5 \times 10^6 \text{ m}^3$
Superficie del bacino imbrifero sotteso	2.5 km ²
Organi di scarico	Scarico di superficie Scarico di fondo
Portata scaricata alla quota di massimo invaso	Totale: 115 m ³ /s Scarico di superficie: 108 m ³ /s Scarico di fondo: 7 m ³ /s
Stato dell'autorizzazione all'invaso	Autorizzata la quota di massima regolazione



2.1 ORGANI DI SCARICO

La diga è dotata di uno scarico di fondo e di uno scarico di superficie.

La portata scaricata con livello d'invaso a quota 16.5 m s.l.m. (quota massimo invaso) è pari a:

- dallo scarico di superficie 108 m³/s;
- dallo scarico di fondo 7 m³/s;

per un totale di 115 m³/s.

Scarico di superficie

Lo sfioratore di superficie è costituito da una soglia libera non sagomata, in destra idraulica, assimilabile ad uno stramazzo a larga soglia avente uno sviluppo di circa 130 m.

Lo scarico non alimenta l'alveo dei corsi d'acqua da cui si origina lo sbarramento, bensì un compluvio in sinistra idraulica che sfocia a mare.

Scarico di fondo

Lo scarico di fondo è costituito da due condotte in corpo diga, ognuna delle quali alimenta un canale di scarico: il canale fosso Vena Lunga in destra ed il canale fosso Gambino in sinistra.

I due canali, realizzati sull'alveo dei corsi d'acqua da cui si origina lo sbarramento, confluiscono dopo un centinaio di metri in un unico canale che sfocia a mare.

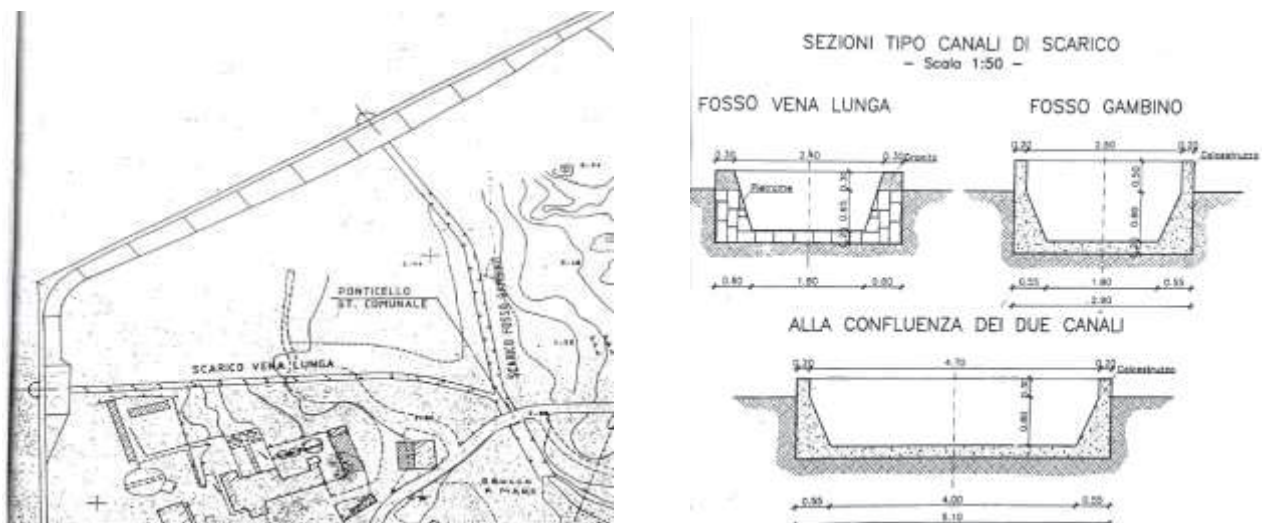


Figura 3 – Planimetria e sezioni dei canali di scarico



REGIONE AUTÓNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORADU DE SOS TRABALLOS PÚBLICOS
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

3 Regole operative per la gestione dell'invaso

La gestione attuale della diga di La Maddalena non prevede limitazioni di invaso, né di tipo autorizzativo né da parte del gestore.

Lo stato dell'autorizzazione all'invaso consente infatti il raggiungimento della quota di massima regolazione, pari a 16.0 m s.l.m.

Inoltre, non essendo lo sfioratore di superficie dotato di paratoie la gestione delle piene si non prevede alcuna operazione di manovra sullo scarico.



4 Portate di riferimento ai sensi della Direttiva P.C.M. 08/07/2014

4.1 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Con riferimento a quanto richiesto dalla Direttiva P.C.M. del 8 luglio 2014, il Tavolo Tecnico, con verbale del 08/09/2016 e in successive riunioni, ha condiviso la definizione delle seguenti portate di riferimento:

- **Q_{Amax}** è la massima portata transitabile in alveo a valle dello sbarramento contenuta nella fascia di pertinenza idraulica in assenza di argini o all'interno degli argini per i fiumi arginati fino alla foce; la Q_{Amax} è riferita alla gestione ordinaria dello sbarramento;
- **Q_{min}** è la portata che indica il valore di attenzione del gestore della diga in fase di evento di piena;
- **ΔQ** sono i livelli incrementali rispetto a Q_{min} che mettono in crisi aree coltivate, edifici, cave, ecc. in fase di piena.

Il Tavolo Tecnico ha altresì convenuto che:

- il valore di **Q_{Amax}** in assenza di arginature si possa ipotizzare pari alla portata indicata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)¹ riferita alla piena ordinaria con tempo di ritorno di 2 anni e scaricata a valle in condizioni di gestione ordinaria della diga. Inoltre, procedendo verso la foce il valore di Q_{Amax} potrà essere incrementato per tener conto dei contributi idrologici dei bacini residui a valle diga. Nel caso di alveo arginato fino alla foce, la portata **Q_{Amax}** può essere determinata pari alla capacità di deflusso nella sezione idraulica definita dagli argini.
- il valore di **Q_{min}** è da valutarsi con riferimento ai livelli di criticità presenti lungo il corso d'acqua. Tale valore è quindi da valutare in relazione alle caratteristiche dell'opera di sbarramento analizzata e delle peculiarità dell'asta e del bacino idrografico di valle. In prima istanza, poiché il gestore attiva la fase di «allerta per rischio idraulico» quando le portate complessivamente scaricate dalla diga per mantenere le soglie di invaso previste nel piano di laminazione, inclusi gli scarichi a soglia libera e le portate turbinate (se rilevanti per entità e luogo di restituzione), superano un valore critico, si è in genere considerato un criterio di definizione del **Q_{min}** che fa riferimento al valore massimo scaricato in corrispondenza delle soglie di invaso previste nel piano di laminazione. Qualora il piano di laminazione non sia ancora stato redatto, si è convenuto di far riferimento alle soglie di invaso assunte come riferimento dal gestore.
- Ugualmente, i valori di **ΔQ** oltre che con riferimento a valori incrementali rispetto a Q_{min} che mettono in condizioni di criticità le infrastrutture presenti a valle, aree coltivate, cave, ecc. potranno essere valutati in relazione a valori di scarico dalla diga in corrispondenza di soglie predefinite di invaso e della capacità di efflusso dagli organi di scarico.

¹ Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello Studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.). Regione Autonoma della Sardegna



Il Tavolo Tecnico ha convenuto che, in assenza di un adeguato sistema di monitoraggio sui deflussi provenienti dal bacino residuo vallivo, la valutazione del Q_{min} e degli eventuali ΔQ debba necessariamente essere definito sulla base di considerazioni cautelative e debbano essere posti in relazione alle portate scaricate al superamento dei valori di soglia ammessi nell'invaso.

4.2 Q_{MAX} PER IL BACINO A VALLE DELLO SBARRAMENTO DI LA MADDALENA

Si precisa che il corso d'acqua sbarrato dalla diga di La Maddalena non è stato analizzato nel PSFF e pertanto non risultano attualmente definite le limitazioni delle fasce fluviali per tale bacino ai differenti tempi di ritorno. Di conseguenza non è possibile definire la portata Q_{Max} sulla base della piena laminata avente tempo di ritorno 2 anni scaricata dalla diga, criterio usualmente adottato dal Tavolo Tecnico nell'esaminare dighe e invasi già studiati in PSFF.

Preliminarmente, in questo caso, in assenza delle valutazioni di PSFF, si è ritenuto di associare alla Q_{Max} la portata naturale, non laminata dal serbatoio, avente tempo di ritorno 2 anni. La relativa valutazione è stata fatta utilizzando la stessa metodologia di stima considerata nel PSFF per i bacini di dimensioni contenute, fino a 60-70 km², ovvero l'applicazione del metodo indiretto basato sulla *Formula Razionale per la stima della portata al colmo di piena*, i cui parametri sono riportati in Tabella 4.

La portata naturale Q_{Tr2} , non laminata e con tempo di ritorno 2 anni è stata stimata pari a 2 m³/s.

Tabella 4 - Parametri TCEV e portata al colmo T_r 2 anni

Superficie bacino	A_b	[km ²]	2.50
Lunghezza dell'asta principale	L_a	[km]	2.20
Quota media del bacino	z_m	[m.s.l.m.]	58.55
Quota della sezione di chiusura del bacino	z_0	[m.s.l.m.]	9.30
Curve Number (SCS)	CN III	[-]	87.84
Perdita Iniziale	I_a	[mm]	7.03
Massimo volume di ritenzione	S	[mm]	35.16
Coefficiente di riduzione areale	ARF	[-]	0.94
Pendenza media del bacino	i_b	[%]	9.90
Sottozona Omogenea	SZO		2.00
Tempo critico di Pioggia	τ	[h]	0.94
Pioggia indice giornaliera	μ_g	[mm]	50.00
Tempo di ritorno	T_R	[anni]	2.00
Coefficiente TCEV	$a(\mu_g, T_R)$	[-]	18.97
Esponente TCEV	$n(\mu_g, T_R)$	[-]	0.31
Altezza di precipitazione	$h(\tau)$	[mm]	18.60
Intensità media di precipitazione	$i(\tau)$	[mm/h]	19.82
Coefficiente di afflusso	φ	[-]	0.15
Portata al colmo $T_r=2$ anni	Q_c	[m³/s]	2.00



Ai fini della definizione della portata massima transitabile in alveo a valle dello sbarramento, contenuta nella fascia di pertinenza idraulica, il valore comunicato dal Gestore è pari a $108.23 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sulla base dei criteri generali adottati dal Tavolo Tecnico, in assenza di studio sulla laminazione realizzabile dalla diga si assume come Q_{Amax} la portata corrispondente al valore di piena atteso per $T_r = 2$ anni, pertanto **$Q_{\text{Amax}} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$** .

Poiché la portata Q_{Amax} è riferita alla gestione ordinaria della diga, ovvero con un livello d'invaso al più uguale alla quota di massima regolazione (16.0 m s.l.m.), l'unica possibilità per il Gestore di poter scaricare tale portata è consentita dallo scarico di fondo, in quanto lo scarico di superficie si attiva al superamento della suddetta quota.

Poiché nella situazione attuale si è in assenza di un sistema di monitoraggio degli apporti nel bacino residuo, vallivi alla diga, si è ritenuto cautelativo assumere Q_{Amax} costante nel bacino vallivo e pari alla portata in uscita dalla diga di $2 \text{ m}^3/\text{s}$ fino alla foce.

Tale assunzione è giustificata anche in considerazione del fatto che la portata Q_{Amax} è riferita alla gestione ordinaria della diga, ai soli fini della definizione della pertinenza idraulica, e quindi in assenza di un evento di piena che determini un incremento della portata procedendo verso valle.

4.3 Q_{MIN} PER IL BACINO A VALLE DELLO SBARRAMENTO DI LA MADDALENA

In considerazione del valore limitato di Q_{Amax} , nelle elaborazioni si è ritenuto, in prima istanza, che per il tratto vallivo in esame si possa considerare per Q_{min} lo stesso valore di Q_{Amax} , pari quindi a $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tale valore sarà soggetta a verifica nelle elaborazioni modellistiche che seguono.

In considerazione del fatto che la Q_{min} è riferita all'evento di piena in atto è possibile associare tale portata con lo scarico di superficie attivo, ovvero con livello d'invaso superiore alla quota di massima regolazione (16.0 m s.l.m.).

Di seguito, tramite modellazione idraulica, sarà verificata la congruità di tali assunzioni sui valori della portata **$Q_{\text{Amax}} = Q_{\text{min}}$** in relazione ai livelli di criticità che il modello idraulico evidenzia lungo il corso d'acqua vallivo.



5 Simulazione idraulica ed individuazione degli elementi a rischio nel corso d'acqua vallivo alla diga di La Maddalena

Sulla base delle portate determinate nei paragrafi precedenti, si è proceduto con la simulazione idraulica al fine di valutare le aree interessate dal deflusso ed individuare eventuali ulteriori criticità.

La simulazione idraulica è stata quindi sviluppata considerando tre differenti scenari di deflusso:

- simulazione con la portata Q_{Amax} ;
- simulazione con la portata Q_{min} ;
- simulazione con incrementi ΔQ nei valori di portata al fine di individuare gli elementi a rischio nel tratto del corso d'acqua a valle della diga.

5.1 MODELLO IDRAULICO

Il modello idraulico utilizzato per la simulazione è basato sull'utilizzo del software HEC-RAS. L'asta valliva della diga di La Maddalena viene schematizzata attraverso la simulazione di due modelli idraulici distinti.

Il primo modello analizza i due canali artificiali posti a valle dei rispettivi scarichi di fondo ed il successivo unico canale su cui convergono, a monte dell'attraversamento avente ID_45, che si interrompe in prossimità dell'arenile della spiaggia di Ricciolina.

Il secondo modello idraulico analizza il compluvio in sponda sinistra alimentato dallo scarico di superficie. Questo tratto, dal punto di vista geomorfologico, presenta per quasi tutto il percorso un tipo di alveo monocursale, con un profilo di fondo regolare.

Nella Figura 4 è riportata la planimetria dei due modelli idraulici relativi al tronco critico omogeneo dove sono raffigurate:

- le sezioni trasversali;
- il modello digitale del terreno utilizzato, il quale si estende per tutta l'area valliva alla diga con risoluzione spaziale di 1 m.



Figura 4 – Schema del modello idraulico relativo all’asta valliva alla diga di Puzzoni

5.2 SIMULAZIONE DELLA PORTATA Q_{AMAX}

Come già detto nei capitoli precedenti, lo scenario di simulazione della portata Q_{AMAX} è relativo alla portata laminata con tempo di ritorno biennale, considerata al fine di individuare la fascia di pertinenza fluviale. La simulazione descritta nel seguente paragrafo assume come input di portata per tale soglia il valore di $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, a monte è stata assunta la condizione di moto uniforme e a valle, in base a quanto deliberato in situazioni analoghe dal Tavolo Tecnico, la restituzione a mare è stata assunta ad una quota di 0.80 m s.l.m . Si è quindi ritenuto che la quota di restituzione a mare di 1.80 m s.l.m . adottata nel P.S.F.F. e nel P.G.R.A. non fosse compatibile con le ipotesi alla base della definizione della portata Q_{AMAX} assunta in condizioni di gestione ordinaria della diga.

Come detto, poiché la portata Q_{AMAX} è riferita alla gestione ordinaria della diga, ovvero con un livello d’invaso al più uguale alla quota di massima regolazione, l’unica possibilità per il Gestore di poter scaricare



tale portata è consentita tramite lo scarico di fondo. Pertanto, la simulazione della Q_{Amax} è riferita esclusivamente ai due canali che ricevono le acque dallo scarico di fondo.

Come detto i due canali artificiali sono ubicati a valle dei rispettivi scarichi di fondo e si uniscono in un unico canale, chiamato Canale di Valle, a circa 20 m a monte dell'attraversamento avente ID_45 ubicato in località La Ricciolina su strada comunale.



Figura 5 - Ponte ID_45 su strada comunale

La modellazione effettuata ha considerato due scenari, nei quali si è ipotizzato il transito della Q_{Amax} in ciascun canale per volta.

- il primo scenario fa riferimento alla Q_{Amax} transitante nel canale Fosso Gambino ipotizzando lo scarico di fondo dal Fosso Vena Lunga chiuso;
- il secondo scenario fa riferimento alla Q_{Amax} transitante nel Canale Fosso Vena Lunga e ipotizzando lo scarico di fondo del Fosso Gambino chiuso.

I risultati ottenuti sono mostrati nelle figure che seguono.



Figura 6 – Perimetrazione della Qmax – primo scenario



Figura 7 - Perimetrazione della Q_{Amax} – secondo scenario

In entrambi gli scenari la Q_{Amax} viene contenuta all'interno dei rispettivi canali. In entrambi gli scenari si verifica un fenomeno di rigurgito che va ad interessare anche il canale che nell'ipotesi simulativa risultava con scarico di fondo chiuso. A valle, a partire dalla confluenza si è simulata la portata transitante nel Canale di Valle, il quale attraversa il Ponte stradale avente ID_45 e raggiunge la foce a mare sull'arenile della spiaggia di Ricciolina.

5.3 SIMULAZIONE DELLA PORTATA Q_{MIN}

La simulazione idraulica del deflusso della Q_{min} è stata realizzata associando anche a tale soglia il valore di portata pari a 2 m³/s. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, pur mantenendo a monte la condizione di moto uniforme, a valle la restituzione a mare è stata assunta in prima istanza pari alla quota di 1.80 m s.l.m.



come adottato anche nel P.S.F.F, nel P.G.R.A e in base a quanto considerato dal Tavolo Tecnico in situazioni analoghe per la verifica delle criticità.

Tuttavia, tale condizione al contorno comporterebbe per il bacino a valle dello sbarramento, anche in assenza di portate defluenti lungo i canali artificiali, l'interessamento della viabilità in corrispondenza dell'attraversamento avente ID_45 come visibile nella Figura 8.

Si è verificata la Q_{min} anche nel compluvio in sinistra idraulica dove sfiora lo scarico di superficie. Dai risultati ottenuti non vengono riscontrate situazioni di criticità associate a tale soglia di portata.

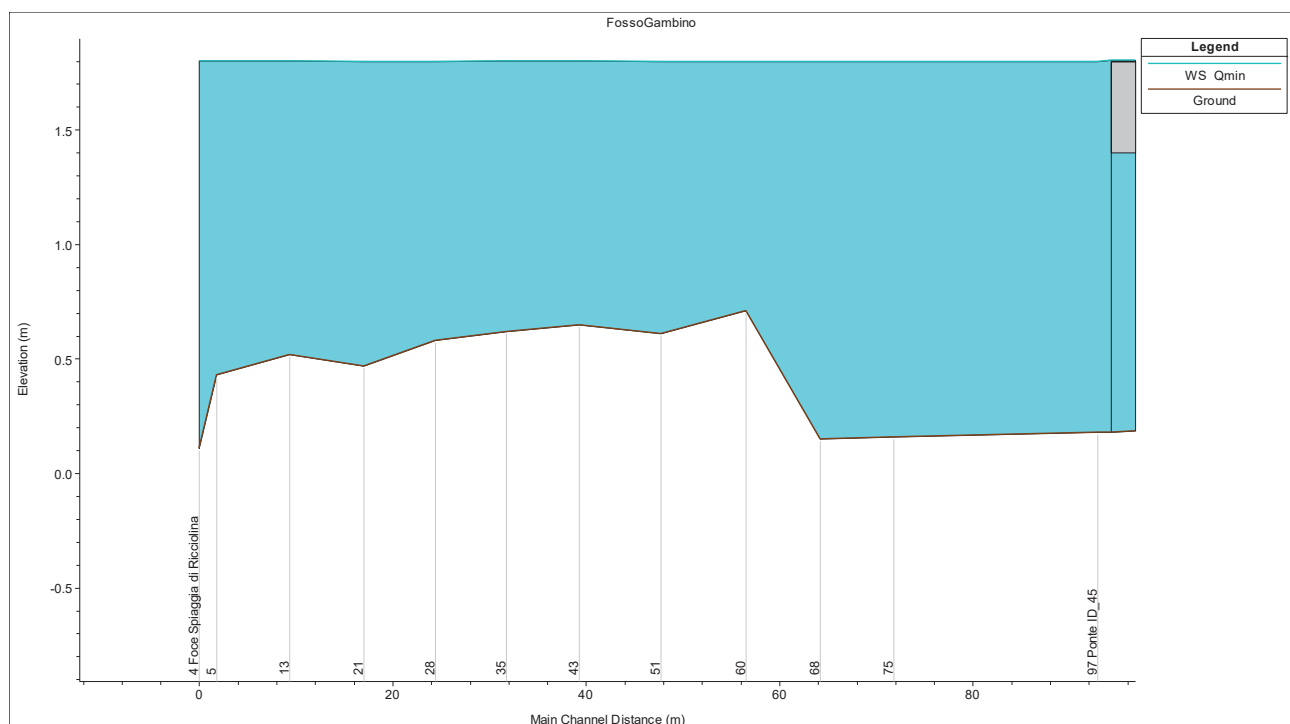


Figura 8 – Profilo di corrente relativo alla zona valliva avente come condizione al contorno di valle 1.80 m s.l.m.

Sulla base di quanto sopra indicato, si è deciso di limitare tale condizione al contorno di valle ponendo la quota di restituzione a mare pari a 0.80 m s.l.m. A sostegno di tale ipotesi vi è l'orientamento geografico e la morfologia dell'arenile nel tratto di costa a valle della diga, che risulta riparato rispetto ai venti dominanti.

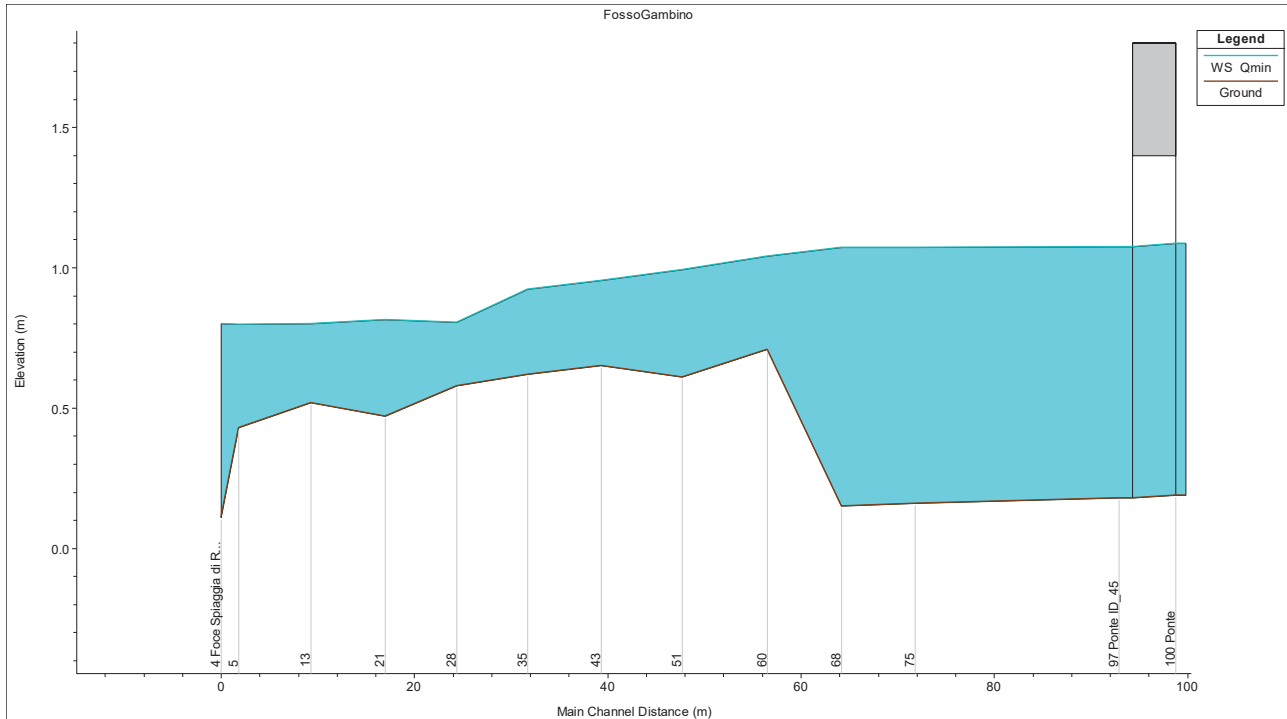


Figura 9 – Profilo di corrente relativo alla zona valliva avente come condizione al contorno di valle 0.80 m s.l.m.

Di conseguenza per il bacino a valle degli scarichi di fondo la simulazione della Qmin risulta identica alla simulazione della Qmax, presentata nel precedente paragrafo.

Per il bacino a valle dello scarico di superficie i risultati ottenuti, come si evince dalla seguente figura, mostrano anche in questo caso la mancanza di criticità.



Figura 10 – Planimetria dell'asta valliva allo scarico di superficie simulando la Q_{min}

5.4 INDIVIDUAZIONE DEI VALORI CRITICI DI PORTATA

La simulazione idraulica per la stima delle portate critiche ha avuto come obiettivo quello di individuare gli elementi esposti al rischio idraulico al crescere della portata di deflusso, partendo dal valore di attenzione Q_{min} .

Come effettuato di solito, anche gli elementi critici individuati per il corso d'acqua in esame sono stati raggruppati in tre macro insiemi:

- viabilità e infrastrutture a rete (ponti tubo);
- opere di difesa longitudinali;
- elementi antropici: case sparse, fabbricati rurali, cave, luoghi di culto, ecc...

Di seguito sono illustrate nel dettaglio le criticità degli elementi sopra definiti.



5.4.1 VALUTAZIONE DELLE PORTATE CRITICHE PER VIABILITÀ E INFRASTRUTTURE A RETE

Nel presente studio la valutazione della potenzialità del deflusso idrico negli attraversamenti della rete viaria è stata valutata tenendo conto di quanto prescritto dall'articolo 21 delle Norme di Attuazione del P.A.I., il quale indica i criteri da tener conto per la stima del franco idraulico affinché la portata transiti in sicurezza attraverso la luce libera dell'attraversamento.

Per ogni attraversamento vengono identificati tre valori di portata:

- $Q(f)$ portata con franco idraulico di sicurezza;
- $Q(f_0)$ portata a franco annullato;
- $Q(s)$ portata di sormonto dell'infrastruttura.

Di seguito di ogni elemento analizzato si fornisce la sezione ed il profilo con indicazione dei livelli idrici delle tre portate sopra citate, oltre a quelli riferiti alle portate Q_{min} e Q_{max} .

Naturalmente, la verifica del franco idraulico in corrispondenza di ogni ponte è soddisfatta per i valori di portata Q_{min} , Q_{max} e $Q(f)$.

Inoltre, per ogni attraversamento si riporta in tabella per ciascun valore di portata analizzato:

- il livello idrico in corrispondenza del ponte e nella sezione di monte;
- il franco idraulico in corrispondenza del ponte e nella sezione di monte;

I. Ponte ID 45

Il primo e unico attraversamento presente a valle della diga di La Maddalena è il ponte su strada comunale in località la Ricciolina avente ID_45. L'opera è visibile nella Figura 11 la cui sezione trasversale modellata su HEC-RAS è rappresentata nella Figura 12.

Il ponte interferisce significativamente con la piena; inoltre, essendo a breve distanza dalla foce il suo comportamento dal punto di vista idraulico viene influenzato dalla condizione al contorno di valle. Come visibile nelle immagini successive, la portata $Q_{max} = Q_{min}$ transita al di sotto dell'intradosso del ponte ma non è verificato il franco idraulico di sicurezza per via della modesta luce disponibile pari a 1.20 m.



Figura 11 – Ponte ID_45 in località Ricciolina – La Maddalena

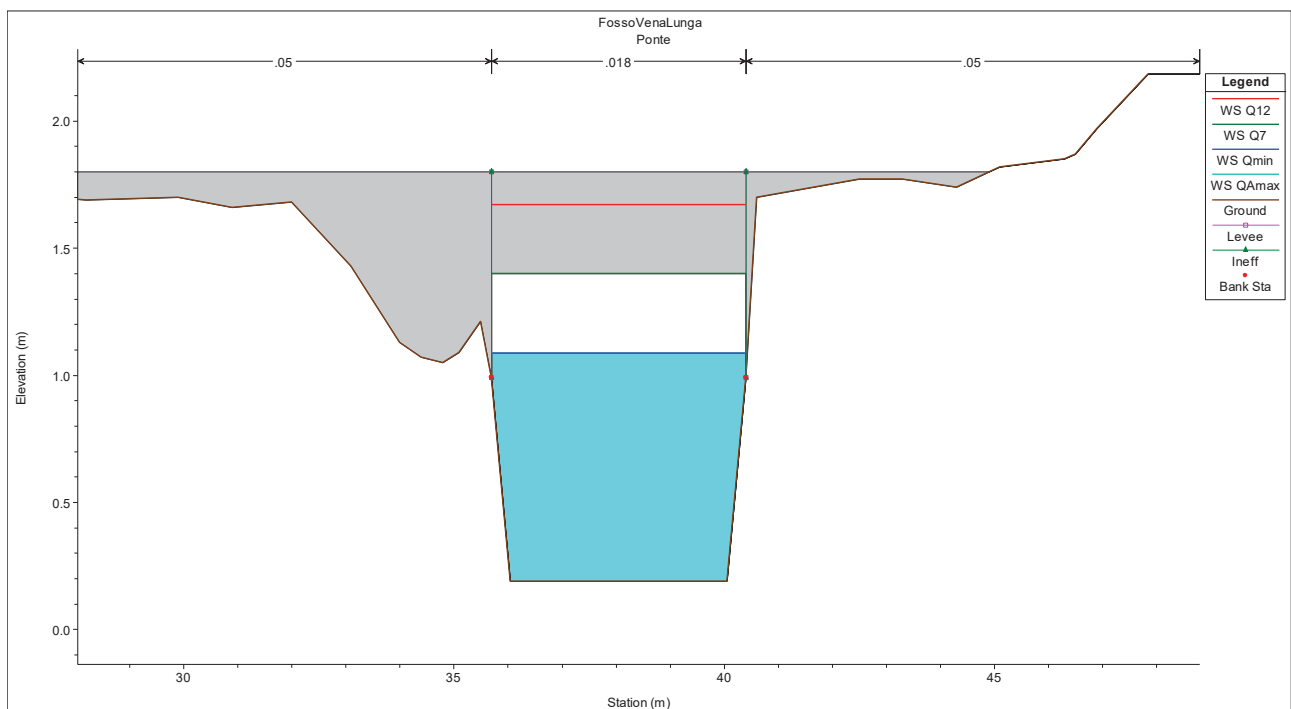


Figura 12 – Sezione ponte Ponte ID_45 in località Ricciolina – La Maddalena

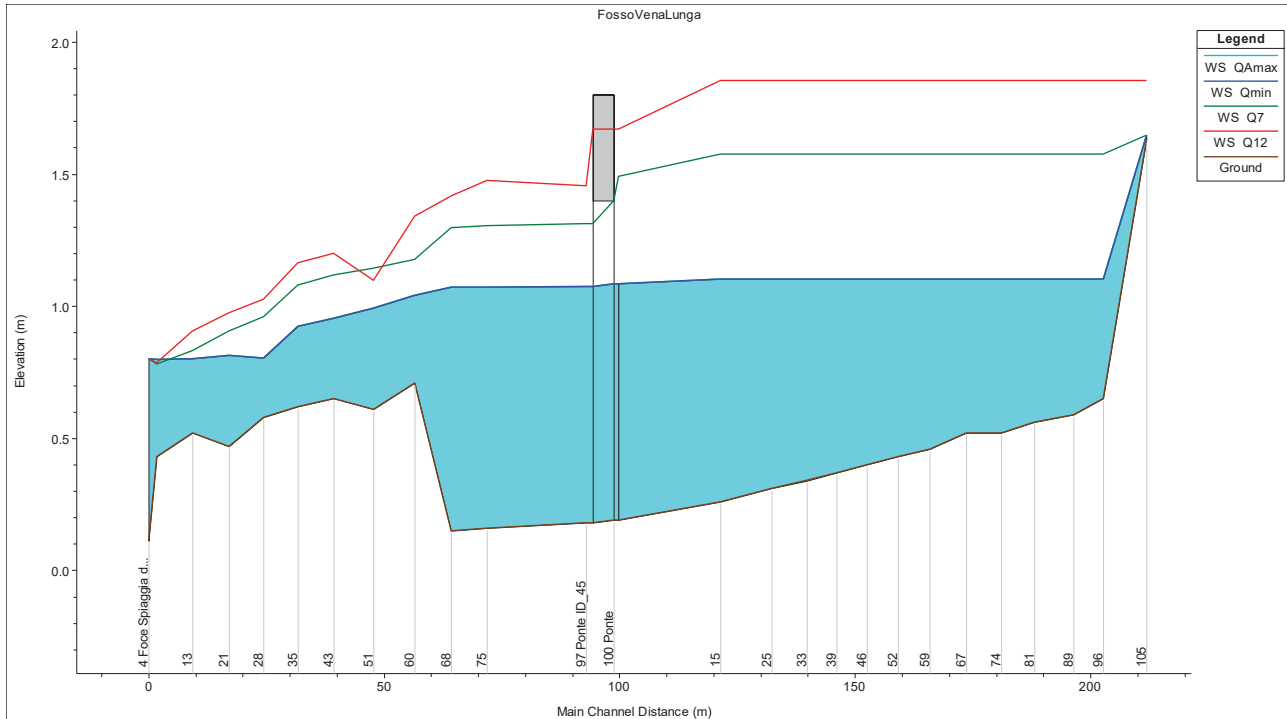


Figura 13 – Profilo di corrente Ponte ID_45 in località Ricciolina – La Maddalena

Tabella 5 - Portate critiche Ponte ID_45 in località Ricciolina – La Maddalena

	Portata	Quota Intradosso	Livello Idrico Ponte	Livello idrico Sezione Monte	Franco Idraulico Ponte	Franco Idraulico Sezione Monte	
	(m ³ /s)	(m slm)	(m slm)	(m slm)	(m)	(m)	
Qmin	2	1.4	1.09	1.09	0.31	0.31	
QAmaz			1.4	1.49	0.00	-0.09	
Q(f0)			7	1.67	1.67	-0.27	-0.27
Q(s)			12				

In Tabella 5 sono riportati i parametri caratteristici del deflusso idrico in corrispondenza del ponte. Considerando la sezione immediatamente a monte del ponte il valore del franco idraulico da considerare è pari a 1.00 m. Tale valore non viene verificato per le soglie di portata analizzate nel presente studio; infatti, considerando la condizione al contorno di valle pari a 0.80 m.s.l.m. il franco idraulico risulta pari a 0.70 m, valore inferiore al franco idraulico di verifica. Per una portata $Q_{min} = Q_{Amaz}$ pari a 2 m³/s il franco in corrispondenza del ponte è pari a 0.31 m; per una portata $Q(f_0)$ pari a 7 m³/s si ha l'interessamento dell'intradosso del ponte, mentre il sormonto avviene per un valore di portata pari a 12 m³/s.



5.4.2 VALUTAZIONE DELLE PORTATE CRITICHE PER LE OPERE DI DIFESA LONGITUDINALI

Si evidenzia che opere di difesa longitudinali (arginature) non sono presenti nei tratti analizzati a valle della diga; tuttavia è stata studiata la capacità massima di trasporto dei due canali artificiali Fosso Vena Lunga e Fosso Gambino.

Sia il canale Fosso Gambino che il canale Fosso Vena Lunga permettono di far defluire al suo interno una portata massima pari a $3 \text{ m}^3/\text{s}$ valore di poco superiore alla $Q_{\text{max}} = Q_{\text{min}}$ sotto l'ipotesi di funzionamento alternato degli scarichi:

- apertura scarico Fosso Gambino e scarico Fosso Vena Lunga chiuso;
- apertura scarico Fosso Vena Lunga e scarico Fosso Gambino chiuso.

Per valori di portata superiori si ha l'esondazione nell'area antistante alla confluenza dei due canali.

Nelle figure seguenti vengono rappresentati i profili longitudinali relativi ai due canali.

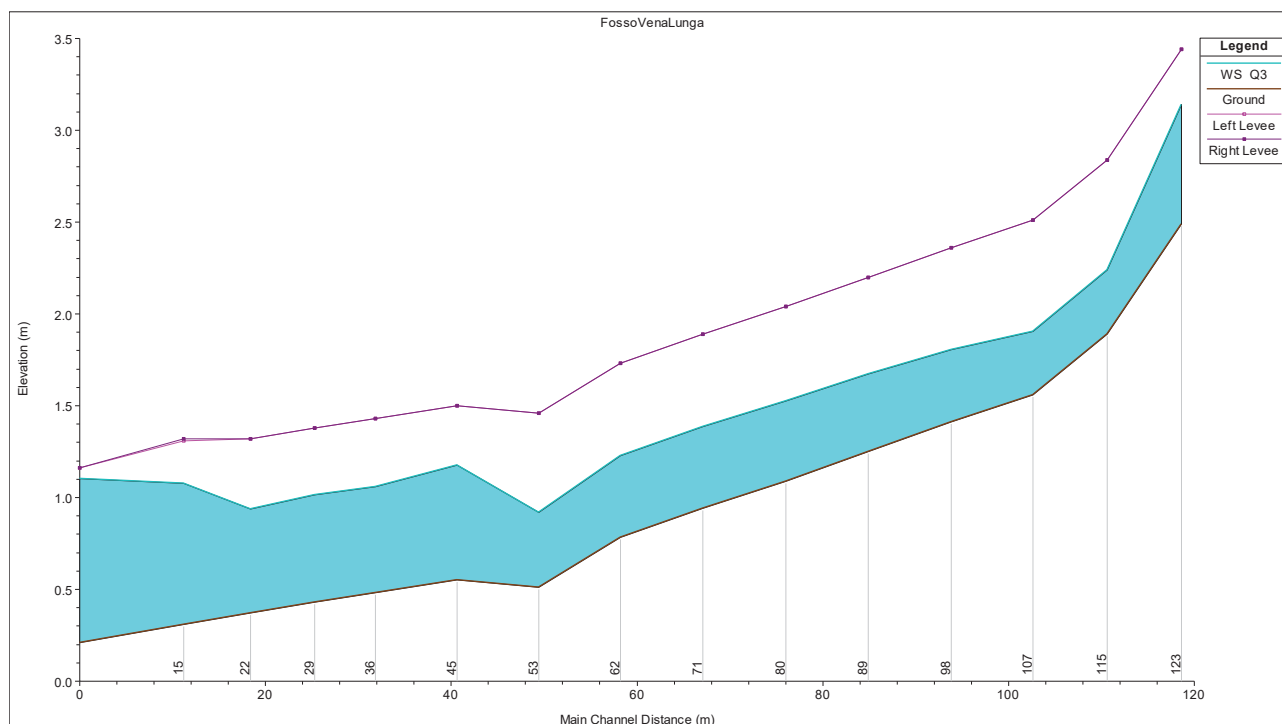


Figura 14 – Profilo di corrente canale Fosso Vena Lunga – La Maddalena

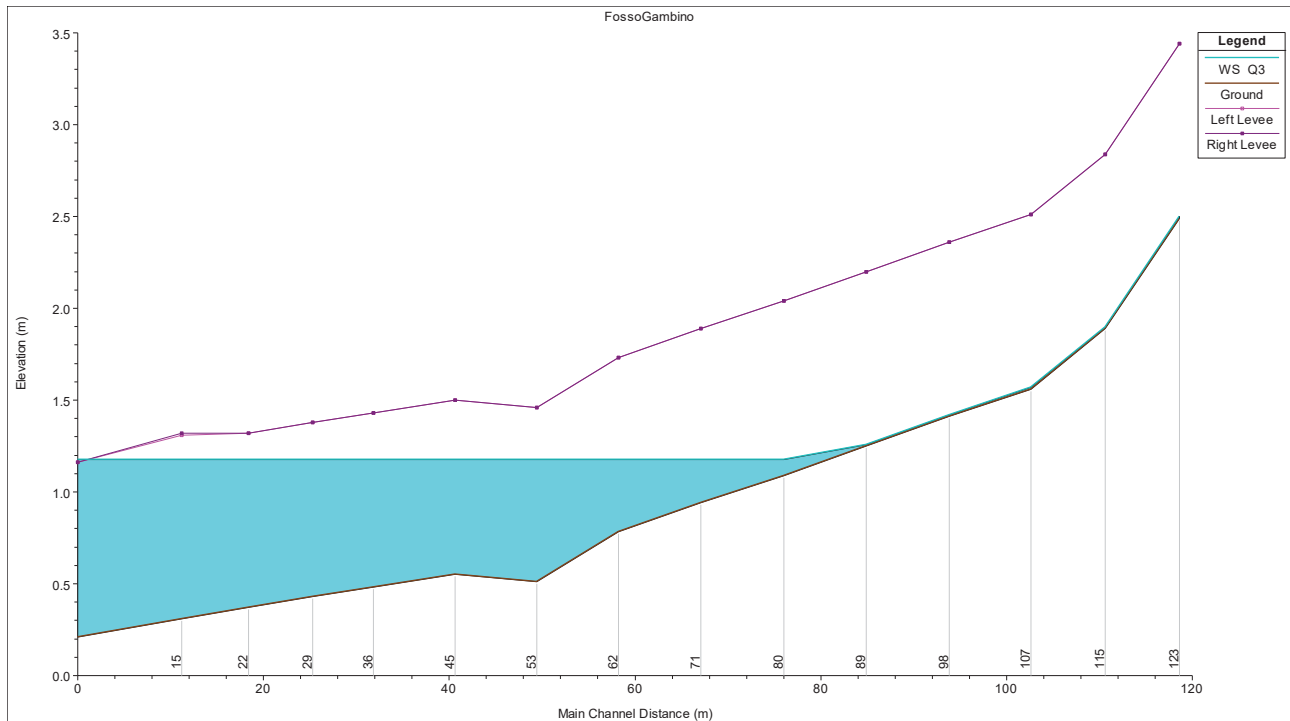


Figura 15 – Profilo di corrente canale Fosso Gambino – La Maddalena

Mentre in condizioni di funzionamento parallelo, ovvero con entrambi gli scarichi aperti, si ha l'inizio dell'esonazione per valori di portata pari o superiore a $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$, per un totale di $5 \text{ m}^3/\text{s}$ che interessa il Canale di Valle.



REGIONE AUTÓNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
ASSESSORADU DE SOS TRABALLOS PÚBLICOS
ASSESSORATO DEI LAVORI PUBBLICI



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



Figura 17 – Particolari viste sezione di monte e valle dell'attraversamento avente ID_45



5.4.3 VALUTAZIONE DELLE PORTATE CRITICHE PER ELEMENTI ANTROPICI

Dall'analisi del territorio interessato dal deflusso idrico e tenendo conto della ubicazione delle case sparse lungo il corso d'acqua, è stata identificata un'area presso il potabilizzatore a valle della diga che potrebbe essere interessata dall'esonazione del canale Fosso Vena Lunga per valori di portata pari o superiori a $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ in condizioni di funzionamento parallelo, ovvero con una portata in arrivo al Canale di Valle pari a $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale situazione è visibile nella Figura 18.



Figura 18 – Area in destra idraulica a monte dell'attraversamento avente ID_45

Per quanto riguarda il bacino in sinistra idraulica, a valle dello scarico di superficie, non si riscontrano criticità per gli elementi antropici presenti nella zona considerando la portata massima scaricabile dalla diga pari a $108 \text{ m}^3/\text{s}$, come visibile nella Figura 19.



Figura 19 – Area relativa alla esondazione generata dallo scarico di superficie per una portata pari a $108 \text{ m}^3/\text{s}$



Tabella 6 - Valori critici di portata

Portata (m ³ /s)		Criticità
Qmin QAmx	2	Franco di 0.31 m sul ponte ID_45
Qc1	2.5	Interessamento area destra idraulica canale Fosso Vena Lunga in condizioni di funzionamento parallelo del Fosso Gambino e Fosso Vena Lunga
Qc2	3	Limite portata contenuta nel canale Fosso Vena Lunga, scarico Fosso Gambino chiuso - franco Δ20 cm
Qc3	3	Limite portata contenuta nel canale Fosso Gambino scarico Fosso Vena lunga chiuso - franco Δ20 cm
Qc4	7	Ponte ID_45 - franco nullo
Qc5	12	Ponte ID_45 - sormonto



6 Considerazioni conclusive

Nel presente documento, sulla base della modellazione idrologica e idraulica sono state definite le portate di riferimento per la Diga di La Maddalena, ai sensi della Direttiva P.C.M. 8 Luglio 2014, prendendo in esame i corsi d'acqua a valle della stessa, compresi fra il suddetto sbarramento e la foce.

Poiché il corso d'acqua non è stato oggetto di valutazioni nel PSFF non è possibile associare alla portata Q_{Amax} il valore riferito alla piena laminata avente tempo di ritorno 2 anni scaricata dalla diga. È stata quindi associata alla Q_{Amax} la portata naturale Q_{Tr2} , non laminata, avente tempo di ritorno 2 anni, stimata pari a **$Q_{Amax} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$** .

Per l'attività preventiva di Protezione Civile, con riferimento di attenzione che deve svolgere il Gestore della diga in fase di evento di piena, si propone al Tavolo Tecnico che per il tratto vallivo alla diga in esame si possa considerare per **Q_{min}** lo stesso valore di Q_{Amax} , e quindi **assumere per la Q_{min} ugualmente la portata di $2 \text{ m}^3/\text{s}$** .

Per quanto riguarda le interazioni della corrente con le principali infrastrutture presenti a valle dello sbarramento, si può affermare che queste risultano compatibili con il transito della **$Q_{min} = Q_{Amax}$, seppur con franco idraulico ridotto**.

Per la Diga di La Maddalena, sulla base del Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione della diga e delle analisi di modellazione idraulica riportate nella presente relazione, si ritiene che anche il valore di **Q_{soglia}** , assunto come soglia di portata al sotto della quale non è previsto l'obbligo di comunicazione da parte del Gestore in caso di assenza di eventi di piena previsti o in atto, possa essere assunto pari a **$Q_{soglia} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$** . Si evidenzia, tuttavia, la necessità di una verifica su questo aspetto da parte degli Enti che compongono il Tavolo Tecnico, valutandone le conseguenti implicazioni non unicamente riportabili alle criticità idrauliche sopra evidenziate. È infatti previsto dall'Accordo tra il DICAAR e la DGLLPP che sia verificata dal Tavolo Tecnico la congruenza dei risultati provenienti dal modello idraulico predisposto dal DICAAR con eventuali ulteriori criticità a valle delle dighe nel definire le Relazioni previste dalla Delibera RAS 33/31 del 10/06/2016.

In considerazione dei limitati incrementi di portata individuati e dalla assenza di elementi antropici significativi, si ritiene **non necessario inserire soglie incrementali ΔQ** per il corso d'acqua analizzato.